

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по выполнению практических занятий
по дисциплине «Оборудование для транспорта и хранения СПГ»
для студентов специальности 21.05.06 Нефтегазовая техника и технологии
специализация Техника и технологии производства сжиженного природного
газа, транспортировки и распределения

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Практическая работа №1 Изучение устройства и расчет эксплуатационных параметров стационарного криогенного резервуара.....	3
Практическая работа № 2 Расчет толщины теплоизоляции стационарного криогенного резервуара СПГ	6
Практическая работа № 3 Расчет технологических параметров процессов слива-налива СПГ	8
Практическая работа № 4 Эксплуатационные расчеты стационарных криогенных газгольдеров СПГ	10
Практическая работа № 5 Расчет логистических и технологических параметров морской транспортировки СПГ	13
Практическая работа № 6 Расчет режимов захолаживания криогенных трубопроводов и оборудования СПГ	16
Практическая работа № 7 Расчет и подбор оборудования системы автономной газификации (САГ) на базе СПГ	18
Практическая работа № 8 Расчет параметров испарения и зон опасности при аварийном проливе СПГ	20
Основная учебная литература.....	23

Практическая работа №1 Изучение устройства и расчет эксплуатационных параметров стационарного криогенного резервуара

Тема: Изучение устройства и расчет эксплуатационных параметров стационарного криогенного резервуара

1. Цель работы

Изучение конструкции стационарного резервуара, освоение методики расчета массы продукта, суточных потерь и параметров безопасности при хранении СПГ.

2. Краткое описание оборудования

Стационарный криогенный резервуар для СПГ представляет собой двустенную конструкцию («сосуд в сосуде»):

Внутренний сосуд: нержавеющая сталь (хладостойкость).

Внешний кожух: углеродистая сталь.

Изоляция: вакуумно-порошковая (перлит + вакуум мм рт. ст.).

Арматура: предохранительные клапаны, манометр, уровнемер, испаритель наддува.

3. Порядок выполнения и расчетные формулы

3.1. Определение массы продукта (М, кг):

$$M = V_{\text{геом}} * \phi * \rho \quad (1.1)$$

где ϕ – коэф. заполнения из таблицы.

3.2. Расчет суточного испарения ($m_{\text{сут}}$, кг):

$$m_{\text{сут}} = \frac{(M * \text{BOG})}{100} \quad (1.2)$$

где BOG — паспортная суточная испаряемость, %.

3.3. Проверка безопасности при аварии.

При потере вакуума испаряемость растет в раз. Требуемый аварийный расход ($G_{ав}$, кг/ч):

$$G_{ав} = \frac{(m_{сут} * K)}{24} \quad (1.3)$$

Минимально необходимое сечение отверстия клапана (F , мм²):

$$F = \frac{G_{ав}}{(0.5 * P_{раб})} \quad (1.4)$$

Пример расчета.

Возьмем типовой стационарный вертикальный резервуар объемом для хранения СПГ (сжиженного природного газа/метана).

Геометрический объем (V_{geom}): 50 м³

Максимальная степень заполнения (ϕ): 90 % (0,9)

Плотность СПГ (ρ): 425 кг/ м³

Удельная теплота испарения (r): 510 кДж/кг

Суточная испаряемость (паспортная): 0,15 % от текущей массы в сутки.

Рабочее давление: 0,4 МПа

Давление срабатывания клапана: 0,8 МПа

Расчетная часть

Задание 1. Определение массы продукта и объема газовой подушки

Полезный (рабочий) объем жидкости:

$$M = 50 * 0,9 * 425 = 19125 \text{ м}^3$$

Объем газовой подушки:

$$m_{сут} = 19125 * 0,0015 = 28,7 \text{ кг/сут}$$

Проверка безопасности при аварии:

$$G_{ав} = \frac{(28,7 * 15)}{24} = 17,9$$

Оценочное требуемое сечение клапана (мм²):

$$F = \frac{17,9}{(0,5 * 0,4)} = 89,5 \text{ мм}$$

Таблица вариантов.

Вариант					(авария)
1	10	0.85	0.25	0.4	15
2	25	0.90	0.18	0.6	20
3	50	0.88	0.15	0.4	25
4	100	0.90	0.10	0.8	40

Построить график зависимости давления от температуры (Кривая насыщения метана) по точкам:

(-161.5°C; 0.1 МПа)

(-150°C; 0.35 МПа)

(-140°C; 0.81 МПа) — Точка срабатывания клапана

(-82.6°C; 4.6 МПа) — Критическая точка

6. Контрольные вопросы

Почему нельзя заполнять резервуар более чем на 95% объема?

Какие признаки указывают на потерю вакуума в межстенном пространстве?

В чем заключается опасность «ролловера» при хранении СПГ?

Практическая работа № 2 Расчет толщины теплоизоляции стационарного криогенного резервуара СПГ

Тема: Расчет толщины теплоизоляции стационарного криогенного резервуара СПГ.

1. Теоретическая часть

Теплоприток к криопродукту происходит через стенки резервуара. Основная задача изоляции — свести этот приток к минимуму, чтобы снизить испаряемость (BOG).

Для вакуумно-порошковой изоляции (ВПИ) общая теплопередача рассчитывается по закону теплопроводности через плоскую или цилиндрическую стенку.

Основные формулы.

Допустимый теплоприток (Q , Вт):

Рассчитывается исходя из паспортной испаряемости:

$$Q = \frac{(m_{\text{исп}} * r)}{\tau} \quad (2.1)$$

где $m_{\text{исп}}$ — масса испаряемого газа за сутки (кг),

r — удельная теплота испарения (для метана кДж/кг),

τ — время в секундах (86400 с).

Толщина изоляции (δ , м):

Из закона теплопроводности Фурье:

$$\delta = \frac{(\lambda * A * \Delta T)}{Q} \quad (2.2)$$

где:

λ — коэффициент теплопроводности изоляции (для вакуумно-порошковой 0,002...0,005 Вт/(м·К)).

A – площадь поверхности резервуара (м^2).

$T_{\text{нар}}$ – температура окружающей среды (К или $^{\circ}\text{C}$).

$T_{\text{вн}}$ – температура СПГ (111 К или -162°C).

$$\Delta T = T_{\text{нар}} - T_{\text{вн}} \quad (2.3)$$

Пример расчета.

Дано: Резервуар с поверхностью $A = 80 \text{ м}^2$. Допустимые потери массы СПГ – 30 кг/сут. Коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda = 0,003 \text{ Вт/(м К)}$.

Допустимый теплоприток (Q , Вт):

Рассчитывается исходя из паспортной испаряемости:

$$Q = \frac{(30 * 510000)}{86400} = 177 \text{ Вт}$$

Рассчитаем необходимую толщину изоляции:

$$\delta = \frac{(0,003 * 80 * 182)}{177} = 247 \text{ мм}$$

Таблица вариантов для студентов.

№ вар.	Площадь поверхности	Допуст. испарение	Теплопроводность
1	45	15	0,002
2	60	20	0,0025
3	85	35	0,003
4	120	50	0,004
5	150	70	0,005

Контрольные вопросы.

Как изменится толщина изоляции, если заменить перлит на экранно-вакуумную изоляцию (ЭВИ) с меньшим λ ?

Почему при расчете берется температура наружного воздуха $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а не максимально возможная летом?

Что произойдет с теплопритоком, если в межстенное пространство попадет влага?

Практическая работа № 3 Расчет технологических параметров процессов слива-налива СПГ

Тема: Расчет технологических параметров процессов слива-налива СПГ

Цель занятия: Научиться рассчитывать время технологических операций, определять массу продукта и учитывать теплофизические изменения оборудования при криогенных температурах.

1. Краткие теоретические сведения и формулы.

Для выполнения расчетов используются следующие зависимости:

Масса продукта (М):

$$M = V_{\text{рез}} \cdot \eta \cdot \rho \quad (3.1)$$

где $V_{\text{рез}}$ – геометрический объем (м^3), η – коэф. заполнения (0.85–0.95), ρ – плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$).

2. Время перекачки (t):

$$t = \frac{V_{\text{факт}}}{Q} \quad (3.2)$$

3. Тепловое сокращение трубопровода (ΔL):

$$\Delta L = L_0 * \alpha * \Delta T \quad (3.3)$$

где α для нержавеющей стали = $16 \cdot 10^{-6}$, $\Delta T = 182^\circ \text{C}$.

$$V_{\text{az}} = 3 * \left(\frac{\pi * d^2}{4} \right) * L \quad (3.4)$$

4. Расход азота на продувку (V_{N_2}):

$$V_{\text{N}_2} = 3 * \left(\pi * \frac{d^2}{4} \right) * L_{\text{лин}}$$

4. Пример решения (для Варианта №0:

1. Масса СПГ:

$$M = 50 * 0,9 * 495 = 19\,575 \text{ кг}$$

2. Время перекачки:

$$t = \frac{50 * 0,9}{1000} = 3,75 \text{ ч}$$

3. Тепловое сокращение (усадка):

$$\Delta L = 10 * 16 * 10^{-6} * 182 = 0,029 \text{ м}$$

4. Расход азота (усадка):

$$V_{\text{az}} = 3 * \left(\frac{(3,14 * 0,05^2)}{4} \right) * 10 = 0,059 \text{ м}^3$$

2. Алгоритм выполнения работы

Согласно варианту, определить массу СПГ в отдающей емкости.

Рассчитать чистое время налива с учетом заданной производительности оборудования.

Рассчитать величину линейной усадки заправочного трубопровода при захолаживании.

Определить необходимый объем азота для инертизации системы перед началом работ.

3. Варианты заданий

№ варианта	Тип емкости	Объем	Коэф. заполн.	Плотность	Произв. насоса	Длина линии
1	Автоцистерна	45	0.90	430	250	12
2	Танк-контейнер	22	0.88	445	150	8
3	Резервуар КриоАЗС	60	0.85	425	300	25
4	Ж/Д цистерна	75	0.92	450	500	15
5	Бункерная емкость	100	0.90	440	800	40

5. Контрольные вопросы

Почему коэффициент заполнения резервуара СПГ никогда не равен 1,0 (100 %)?

К каким последствиям приведет отсутствие компенсаторов на жестком трубопроводе при подаче СПГ?

Зачем проводить продувку азотом перед началом слива?

Практическая работа № 4 Эксплуатационные расчеты стационарных криогенных газгольдеров СПГ

Тема: Эксплуатационные расчеты стационарных криогенных газгольдеров СПГ

Цель работы: Изучить принципы работы систем поддержания давления в газгольдерах и рассчитать параметры выдачи газа потребителю через испарительные установки.

1. Теоретическая справка

Криогенный газгольдер — это стационарный двустенный сосуд с вакуумно-многослойной изоляцией.

Подъем давления: Осуществляется за счет испарения небольшой части СПГ в выносном испарителе подъема давления (автоматический цикл).

Выдача газа: Жидкий СПГ под действием избыточного давления вытесняется в основной испаритель, где превращается в газ и нагревается перед подачей в сеть.

2. Расчетные формулы

2.1. Расчет объема природного газа после регазификации:

$$V_{\text{gas}} = \frac{M}{\rho_{\text{gas}}} \quad (4.1)$$

M – масса СПГ в газгольдере (кг);

ρ_{gas} – плотность природного газа при нормальных условиях (принять 0,72 кг/м³).

2.2. Расчет давления в сосуде при нагреве (закон Шарля, упрощенно):

$$P_2 = P_1 * \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad (4.2)$$

P_1, T_1 – начальные параметры;

P_2, T_2 – конечные параметры при простое оборудования.

2.3. Коэффициент расширения газа (сколько м³ газа получится из 1 м³ жидкости):

$$K_{\text{exp}} = \frac{\rho_{\text{liq}}}{\rho_{\text{gas}}} \quad (4.3)$$

2.4. Требуемая мощность испарителя для обеспечения расхода:

$$W = G * (r + c * \Delta T) \quad (4.4)$$

где:

G – массовый расход газа (кг/с);

r – удельная теплота испарения (510 кДж/кг);

c – теплоемкость газа (2.2 кДж/кг·К).

3. Варианты заданий для студентов

Вариант	Объем газгольдера (, м³)	Раб. давление (, атм)	Плотность СПГ (, кг/м³)	Расход газа (, м³/ч)
1	50	6.0	435	500
2	100	10.0	425	1200
3	150	4.5	440	800
4	250	16.0	430	2500

4. Порядок выполнения работы.

Масса продукта: Рассчитать массу СПГ при заполнении газгольдера на 85%.

Определить, какой объем товарного газа получит потребитель при полной выработке газгольдера.

Коэффициент расширения: Вычислить, во сколько раз увеличивается объем топлива при переходе из жидкого состояния в газообразное.

Время автономности: Рассчитать, на сколько часов хватит запаса газа при заданном расходе.

Безопасность: Рассчитать давление в сосуде, если температура внутри поднимется с -162°C до -140°C при закрытых клапанах.

5. Контрольные вопросы

Зачем в схеме газгольдера используется отдельный «испаритель подъема давления»?

Почему при длительном хранении без отбора газа давление в газгольдере неизбежно растет?

Что такое «эффект стратификации» (расслоения) СПГ в больших резервуарах и чем он опасен?

Практическая работа № 5 Расчет логистических и технологических параметров морской транспортировки СПГ

Тема: Расчет логистических и технологических параметров морской транспортировки СПГ

Цель работы: Научиться рассчитывать полезный объем доставки СПГ танкером-газовозом с учетом естественного испарения в пути и расхода газа на собственные нужды судна.

1. Теоретическая справка

Современные газовозы делятся на два основных типа:

Мембранные (типа GTT): Прямоугольные танки, встроенные в корпус. Эффективно используют объем судна.

Сферические (типа Moss): Самоподдерживающиеся сферы. Обладают высокой прочностью и надежностью.

Boil-off Gas (BOG): Естественное испарение (от 0,1% до 0,15% от объема груза в сутки). Этот газ либо сжижается обратно, либо сжигается в двигателях судна (DFDE/MEGI).

2. Расчетные формулы в понятном виде.

2.1. Полная масса груза при погрузке:

$$M_{\text{start}} = V_{\text{tank}} * \eta * \rho \quad (5.1)$$

где:

V_{tank} – суммарный объем танков судна (м³);

η – коэффициент заполнения (обычно 0.98 для морских судов);

ρ – плотность СПГ (кг/м³).

2.2. Суточные потери от испарения (BOG):

$$M_{\text{loss}} = M_{\text{start}} * k_{\text{bog}} \quad (5.2)$$

где: k_{bog} – среднесуточный коэффициент испарения (например, 0,0012, что равно 0,12 %).

2.3. Общая масса доставленного груза (через N суток пути):

$$M_{\text{finish}} = M_{\text{start}} * (1 - k_{\text{bog}})^N \quad (5.3)$$

где: N – длительность рейса в сутках.

2.4. Эквивалент энергии доставленного груза (в Гкал или ГДж):

$$E = M_{\text{finish}} * Q_{\text{low}} \quad (5.4)$$

где: Q_{low} – низшая теплота сгорания метана (принять 50 000 кДж/кг).

3. Варианты заданий для студентов.

Вариант	Тип судна	Объем танков	Плотность	Сутки в пути	Коэф. испарения
1	Малый газовоз	15 000	430	5	0.0015

2	Средний (Med)	75 000	440	12	0.0012
3	Конвенционный	145 000	425	20	0.0010
4	Q-Flex (крупный)	210 000	435	25	0.0009
5	Q-Max (гигант)	266 000	445	30	0.0008

4. Порядок выполнения.

Начальная масса: Рассчитать массу СПГ, принятого на борт в порту отгрузки.

Потери в пути: Рассчитать, сколько тонн СПГ испарится за весь период рейса.

Масса выгрузки: Определить фактическую массу груза, которая будет передана на регазификационный терминал в порту назначения.

Энергетика: Перевести доставленную массу в энергетический эквивалент (ГДж).

Экономика (опционально): Зная, что 1 тонна СПГ стоит условно \$500, рассчитать стоимость «потерянного» (испарившегося) груза за рейс.

5. Контрольные вопросы

В чем преимущество мембранных танков перед сферическими при одинаковых габаритах судна?

Почему коэффициент заполнения на судах выше (0.98), чем в автоцистернах (0.85-0.90)?

Как капитан судна может использовать испарившийся газ (BOG), если судно идет медленно и двигателям не нужно столько топлива?

Практическая работа № 6 Расчет режимов захлаживания криогенных трубопроводов и оборудования СПГ

Тема: Расчет режимов захлаживания криогенных трубопроводов и оборудования СПГ

Цель работы: Рассчитать массу СПГ, необходимую для охлаждения оборудования до рабочей температуры, и определить безопасное время захлаживания.

1. Теоретическая справка

Захлаживание (Cool-down) — процесс постепенного снижения температуры металла от температуры окружающей среды до рабочей.

Энергия на охлаждение металла берется за счет испарения части подаваемого СПГ.

Скорость охлаждения для стальных резервуаров обычно не должна превышать 10–15^{°C} в час во избежание деформаций.

2. Расчетные формулы.

2.1. Расчет массы металла оборудования (кг):

$$M_{\text{met}} = \rho_{\text{met}} * V_{\text{met}} \quad (6.1)$$

(Плотность нержавеющей стали принять 7900 кг/м³)

2.2. Количество теплоты, которое нужно отнять у металла (кДж):

$$Q_{\text{cool}} = M_{\text{met}} * c_{\text{met}} * (T_{\text{start}} - T_{\text{finish}}) \quad (6.2)$$

2.3. Масса СПГ, необходимая для захлаживания (кг):

$$M_{\text{lng}} = \frac{Q_{\text{cool}}}{r} \quad (6.3)$$

(Удельная теплота испарения СПГ ρ принять 510 кДж/кг)/

2.4. Минимальное время захлаживания (ч):

$$t_{\min} = \frac{(T_{\text{start}} - T_{\text{finish}})}{v_{\text{cool}}} \quad (6.4)$$

(где v_{cool} – допустимая скорость охлаждения, °C/ч).

4. Порядок выполнения.

Вычислить общее количество теплоты, которое необходимо отвести от металлоконструкции для достижения рабочей температуры.

Рассчитать массу СПГ, которая испарится в процессе захлаживания («потери на захлаживание»).

Определить минимально допустимое время процесса исходя из ограничений по скорости охлаждения.

Рассчитать средний расход СПГ (кг/ч) в процессе захлаживания.

3. Варианты заданий.

Вариант	Тип оборудования	Масса металла, т	Нач. темп. °C	Раб. темп. °C	Доп. скорость, °C/ч
1	Участок трубопровода	1.2	+25	-162	30
2	Танк-контейнер	6.5	+20	-162	15
3	Судовой танк (малый)	45.0	+15	-161	10
4	Газгольдер КристоЗС	12.0	+30	-162	20
5	Испарительный узел	3.5	+20	-160	25

5. Контрольные вопросы

Почему для первичного захлаживания часто используют пары азота, а не сразу жидкий СПГ?

Что такое «термоудар» и к каким последствиям для криогенной арматуры он может привести?

Как визуально определить, что процесс захлаживания незаизолированного участка трубы завершен? (Подсказка: иней и температура).

Практическая работа № 7 Расчет и подбор оборудования системы автономной газификации (САГ) на базе СПГ

Тема: Расчет и подбор оборудования системы автономной газификации (САГ) на базе СПГ.

Цель работы: Определить необходимый запас СПГ для автономной работы объекта, выбрать количество резервуаров и рассчитать требуемую мощность испарительной установки.

1. Расчетные формулы.

1.1. Суточный расход СПГ по массе (кг/сут):

$$M_{\text{day}} = \frac{(Q_{\text{hour}} * 24)}{K_{\text{exp}}} \quad (7.1)$$

где:

Q_{hour} – максимальный часовой расход газа потребителем (м³/ч);

K_{exp} – коэффициент расширения (принять 600 м³ газа из 1 м³ жидкости).

1.2. Необходимый полезный объем хранилища (м³):

$$V_{\text{req}} = \frac{(M_{\text{day}} * T_{\text{aut}})}{(\rho * \eta)} \quad (7.2)$$

где:

T_{aut} — требуемое время автономности (сутки);

ρ — плотность СПГ (кг/м³);

η — коэф. заполнения (0.85).

1.3. Количество стандартных резервуаров (шт):

$$n = \frac{V_{req}}{V_{std}} \quad (7.3)$$

(Результат округляется в большую сторону до целого числа).

1.4. Требуемая производительность испарителя (м³/ч):

$$G_{isp} = Q_{hour} * 1.2 \quad (7.4)$$

(С учетом 20% запаса на пиковые нагрузки).

2. Варианты заданий (Исходные данные).

Студент выбирает вариант согласно типу объекта защиты.

Вариант	Тип объекта	Расход газа (м ³ /ч)	Плотность (кг/м ³)	Автономность (сут)	Объем резервуара (м ³)
1	Котельная поселка	450	430	14	25
2	Зерносушилка	1200	425	7	50
3	Асфальтовый завод	800	440	10	50
4	Тепличный комплекс	2500	435	5	100
5	Хлебозавод	300	445	30	25

3. Порядок выполнения (Инструкция).

Оценить массу: Посчитайте, сколько тонн СПГ потребляет объект в сутки.

Общий объем: Определите суммарную емкость парка резервуаров, чтобы топливо не закончилось раньше срока.

Выбор оборудования: Подберите количество стандартных емкостей (например, если нужно 85 м³, а стандарт 50 м³ — ставим 2 шт.).

Проверка: Рассчитайте, сколько рейсов автоцистерн объемом 40 м³ потребуется для первичной заправки всей системы.

Вывод: Укажите итоговую конфигурацию системы (например: "САГ состоит из 3-х резервуаров по 50 м³ и испарителя мощностью 1000 м³/ч").

4. Контрольные вопросы для семинара

Почему в системах автономной газификации СПГ выгоднее сжиженного пропан-бутана (СУГ) при больших расходах?

Какую функцию выполняет "испаритель подъема давления" в стационарном газгольдере?

Как изменится давление в системе, если резко увеличить отбор газа потребителем?

Практическая работа № 8 Расчет параметров испарения и зон опасности при аварийном проливе СПГ

Тема: Расчет параметров испарения и зон опасности при аварийном проливе СПГ.

Цель занятия: Научиться определять масштаб испарения при разгерметизации криогенного оборудования и рассчитывать геометрические параметры зоны пролива для планирования мер защиты.

1. Расчетные формулы.

1.1. Площадь пролива на неограниченную поверхность (м²):

$$S = \frac{V_{\text{spill}}}{h} \quad (8.1)$$

где:

V_{spill} – объем выброса СПГ (m^3);

h – средняя толщина слоя пролива (для расчетов ПБ принимается 0,05 м).

1.2. Начальная интенсивность испарения с поверхности ($кг/(м^2 \cdot с)$):

$$W = \frac{(q_{ground} * S)}{r} \quad (8.2)$$

где:

q_{ground} – удельный тепловой поток от грунта (принимается 10–15 кВт/ m^2 в первые секунды);

r – удельная теплота испарения СПГ (510 кДж/кг).

1.3. Радиус зоны взрывоопасных концентраций (упрощенно, м):

$$R_{LFL} = 15 * \left(\frac{M_{evap}}{\rho_{gas}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8.3)$$

где:

M_{evap} — масса испарившегося газа (кг);

R_{LFL} — нижний концентрационный предел распространения пламени (для метана $\approx 5\%$ об.).

2. Кейс-задания для рабочих групп (Варианты)

Каждая группа анализирует конкретный сценарий аварии на объекте.

№	Сценарий аварии	Объем пролива (m^3)	Тип поверхности	Поток (кВт/ m^2)
1	Разрыв шланга на КриоАЗС	0.5	Асфальт	12
2	Авария танк-контейнера	20.0	Грунт (песок)	10
3	Свищ в резервуаре САГ	5.0	Бетонное обвалование	15
4	Наезд на ТРК (колонку)	1.5	Плитка	12

5	Полное разрушение АЦ	40.0	Гравийная засыпка	8
---	----------------------	------	-------------------	---

3. Ход семинара (Инструкция)

Геометрия: Рассчитайте площадь пятна СПГ.

Динамика: Определите, сколько килограммов газа ежесекундно поступает в атмосферу сразу после пролива.

Масштаб: Рассчитайте общую массу испарившегося газа за первые 10 минут (600 секунд), учитывая, что поток тепла от земли постепенно падает.

Риски: Оцените радиус зоны, внутри которой запрещены любые источники зажигания.

Решение: Предложите инженерное решение для уменьшения зоны (например: устройство поддона, засыпка керамзитом, использование дренажной системы).

4. Дискуссионные вопросы для семинара

Почему пролив СПГ на воду опаснее, чем на сухой грунт? (Подсказка: эффект RPT — Rapid Phase Transition).

Как влияет ветер на форму зоны загазованности (почему она становится эллипсом, а не кругом)?

Эффект «тяжелого газа»: почему холодные пары метана (хотя он легче воздуха) сначала стелются по земле?

Основная учебная литература

1. Бармин И. В., Кунис И. Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / Под ред. А. М. Архарова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — 256 с. (Фундаментальный учебник по технологии СПГ).
2. Иванцов О. М. Сжиженный природный газ. — М.: Недра, 1985. (Несмотря на год издания, содержит базу по расчетам изотермических резервуаров).
3. Федорова Е. Б. Низкотемпературные технологии хранения и транспортировки сжиженного природного газа. — М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2010.
4. Глебов В. В. Оборудование и технологии транспорта и хранения сжиженного природного газа: Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2017.
5. Кунис И. Д. Оборудование систем производства, хранения и распределения сжиженного природного газа. — М.: МГТУ им. Баумана, 2014.
6. Черепанов В. В. и др. Справочник инженера по эксплуатации криогенного оборудования. — М.: Машиностроение, 2012.
7. Handbook of Liquefied Natural Gas / Saeid Mokhatab, John Mak, Jochen Valappil, David Wood. — Gulf Professional Publishing, 2013. (Для продвинутого изучения международных стандартов ISO).

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации и проведению
самостоятельной работы**

РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

для студентов специальности 21.05.06 Нефтегазовая техника и технологии
специализация «Техника и технологии производства сжиженного природного
газа, транспортировки и распределения»

Ставрополь 2026

Методические рекомендации предназначены для студентов вуза «Северо-Кавказский федеральный университет»

Цели методических рекомендаций:

1. Методическое сопровождение процесса введения и реализации требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (далее ФГОС ВО), помощь при разработке рабочих учебных программ дисциплин и профессиональных модулей образовательной программы (далее ОП).

2. Создание в образовательном учреждении учебно-методического обеспечения образовательного процесса.

Методические рекомендации определяют сущность самостоятельной работы студентов в вузе, её назначение, планирование, формы организации и виды контроля.

Содержание

1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО.
2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов.
3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями.

1. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО

1.1. ФГОС раздел: «Требования к условиям реализации ОП»:

- Требования к обязательному минимуму содержания образовательной программы подготовки специалиста, к условиям ее реализации и срокам ее освоения определяются настоящим федеральным государственным образовательным стандартом;
- основная образовательная программа подготовки специалиста состоит из дисциплин общенаучного и профессионального циклов, состоящих из базовой и вариативной частей и дисциплин по выбору;
- максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны быть обеспечены доступом к сети Интернет. Реализация образовательной программы подготовки специалиста должна обеспечиваться доступом каждого студента к библиотечным фондам и базам данных, формируемым по полному перечню дисциплин образовательной программы из расчета обеспеченности учебниками и учебными пособиями не менее 0,5 экземпляра на одного студента. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем циклам дисциплин и постоянно восполняться научной литературой и периодическими изданиями нефтегазового профиля

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

- в рабочем учебном плане – в целом по теоретическому обучению, каждому из циклов дисциплин;
- в рабочих программах учебных дисциплин циклов дисциплин с распределением по разделам или конкретным темам.

2. Назначение и виды самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;

- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитию исследовательских умений.

В учебном процессе ОУ выделяются два вида самостоятельной работы:



Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

3. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями.

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы

1. Просмотр и проверка выполнения самостоятельной работы преподавателем.
2. Самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе.
3. Обсуждение результатов выполненной работы на занятии.
4. Тестирование.
5. Письменный опрос.

6. Устный опрос.
7. Индивидуальное собеседование.
8. Коллоквиум.
9. Отчет о проделанной работе.
10. Защита рефератов или курсовой работы.
11. Творческий конкурс.
12. Интернет - конференции.
13. Контрольная работа.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- формирование набора из общекультурных и профессиональных компетенций будущего специалиста;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

Содержание внеаудиторной самостоятельной деятельности студентов

Методические указания для студентов по выполнению самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекциям
2. Подготовка к практическим занятиям